

Báječný svět počítačových sítí

Část V – Základy datových komunikací II



JIŘÍ PETERKA

Základem pro fungování počítačových sítí jsou přenosová média, protože právě ona a pouze ona fakticky přenáší nějaká data. Přenosových médií ovšem existuje celá řada a jejich vlastnosti a schopnosti se v mnohém liší. Jak je to například s koaxiálními kabely, kroucenými dvovloučkami, optickými vlákny či třeba s bezdrátovými přenosovými médii?

V předchozí části tohoto seriálu jsme dospěli k tomu, že schopnost přenášet data je dána zejména šířkou přenosového pásma a také kvalitou média (linky), vyjádřenou jako poměr mezi užitečným signálem a neužitečným šumem.

Šířka pásma, měřená v hertzech (Hz), představuje vlastně rozsah frekvencí, které je dané přenosové médium schopné přenášet. Schopnost přenášet data je na ní pak lineárně závislá: čím větší je šířka pásma, tím větší je i schopnost přenášet data. Tuto schopnost ale již vyjadřuje tzv. přenosová rychlost, kterou měříme v bitech za sekundu, resp. v násobcích (kilobitech za sekundu, megabitech za sekundu atd.).

Závislost na kvalitě linky, resp. na poměru mezi užitečným signálem a neužitečným šumem je již poněkud složitější – ale i zde platí, že čím je „odstup“ užitečného signálu od šumu větší (čím je signál silnější v porovnání se silou šumu), tím lépe. Konkrétní závislost vychází z tzv. Shannonova teorému, který jsme popsali již v minulém dílu. Pro připomenutí ale jeden důležitý detail: maximální dosažitelná přenosová rychlost při určité šířce pásma a určitém odstupu signálu od šumu vůbec nezávisí na dokonalosti technologií a způsobu, jak přenosové médium využíváme. Takže ani sebedokonalější technologie nás nedostane přes maximum, plynoucí ze Shannonova teorému.

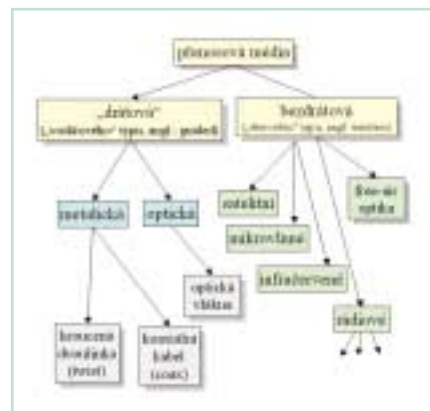
V praxi ovšem narazíme i na prozaičtější překážky, jako třeba na útlum (zeslabení) signálu či jeho zkreslení během přenosu. To jsou ale věci,

se kterými si dokonalejší technologie dokáží poradit (například vhodným zesílením signálu, použitím signálu vhodného průběhu atd.).

Klasifikace přenosových médií

Než se začneme bavit o vlastnostech jednotlivých přenosových médií, nejprve si je můžeme rozdělit na „drátová“ a „bezdrátová“ přenosová média. Můžeme jim také říkat „vodičová“ a „éterová“.

Drátová (vodičová) média jsou specifická tím, že přenášený signál prochází pouze skrze ně (tedy jej tzv. vedou) a až na nežádoucí vyzařování, které se snažíme maximálně omezit, je signál neopouští. Naproti tomu bezdrátová („éterová“) média předpokládají šíření signálu ve formě elektromagnetických vln otevřeným prost-



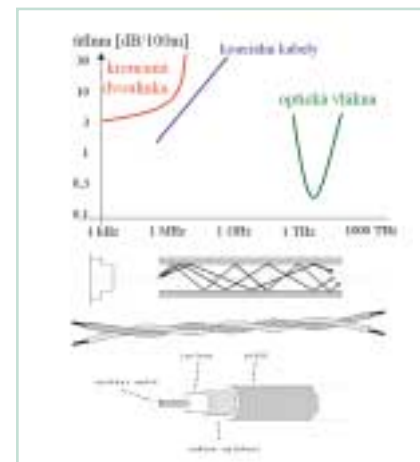
rem, ať již ve všech směrech či jen v určitém konkrétním směru.

Drátová média si můžeme dále rozdělit na metalická (kovová) a optická (přenášející světelné paprsky). Přitom „optická a drátová“ jsou optická vlákna, která jsou nejčastěji skleněná (křemíková), ale existují i optická vlákna vyrobená z plastů. Naopak „metalická drátová“ média se nejčastěji vyskytují buď v podobě tzv. kroucené dvovloučky (anglicky: twisted-pair), nebo v podobě tzv. koaxiálních (souosých) kabelů. Existují však i různé hybridy mezi oběma variantami.

Bezdrátová média zase nejčastěji dělíme podle toho, na jakých frekvencích (v jakých frekvencích pásmech) je příslušný signál přenášen, resp. vyslán a přijímán. Pak se hovoří o přenosu mikrovlnných, infračervených, obecněji o rádiových atd. Kritériem může být i způsob bezdrátového přenosu, pak se hovoří například o satelitních přenosech, pozemních přenosech atd. Poměrně samostatnou kategorií pak tvoří bezdrátové optické přenosy (FSO, Free-Space Optics), označované také jako „laserové“.

Drátová přenosová média

Přenosové schopnosti „drátových“ médií jsou dosti různorodé. Zatímco například u kroucené dvovloučky jsme se dnes už často dostali „na doraz“, u koaxiálních kabelů stále ještě existují jisté rezervy. Ty ale nejsou nic proti tomu, jaký je přenosový potenciál optických vláken. Ten je skutečně obrovský a dnes jej využíváme jen z velmi



▲ Představa o útlumu u drátových přenosových médií.

malé části. Jedno známé přísloví z branže dokonce říká, že ani pořádně netušíme, jak je tento potenciál vlastně velký.

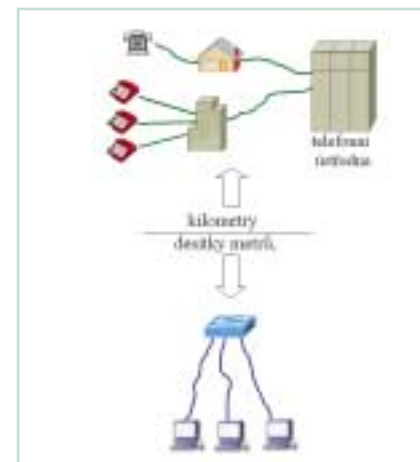
Něco málo o kapacitních možnostech optických vláken však přece jen tušíme. Mají totiž k dispozici obrovskou šířku přenosového pásma, danou velikostí a rozpětím frekvencí, které používají. Je to proto, že optická vlákna přenáší světlo ve viditelném rozsahu, které má frekvenci kolem 108 MHz, resp. 1014 Hz, resp. 100 THz. Naproti tomu kroucená dvovloučka pracuje s relativně nízkými frekvencemi (do stovek MHz) a koaxiální kabel zvládá ještě o něco vyšší frekvence. Ukazuje to ostatně i obrázek, na kterém je znázorněn (na ose Y) měrný útlum jednotlivých typů přenosových médií. Měrný útlum je veličina, udávající nakolik médiem o příslušné jednotce délky zeslabuje (utlumuje) přenášený signál. Jde však jen o orientační představu, v praxi velmi záleží na provedení, použitém materiálu atd. Navíc útlum obecně závisí i na frekvenci přenášeného signálu.

Spíše než přesné faktografické údaje by nám měl obrázek naznačit jednu podstatnou věc: kroucená dvovloučka má relativně nejhorší přenosové vlastnosti (největší útlum), a tak s ní „dosáhneme“ spíše jen na kratší vzdálenosti. S koaxiálními kabely je to již o něco lepší, ale nejdále se můžeme dostat s optickými vlákny, která vykazují nejmenší měrný útlum.

Kroucená dvovloučka

S kroucenou dvovloučkou se v praxi můžeme setkat poměrně často, například v rámci telefonních rozvodů (na větší vzdálenosti, z domovů či kanceláří až k telefonním ústřednám), nebo v rámci „počítačových“ rozvodů, spíše na kratší vzdálenosti (desítky metrů, max. 100 metrů).

► Nestíněná dvovloučka (kabel se 4 páry UTP).



▲ Příklady praktického využití kroucené dvovloučky.

Kroucené dvovloučky tedy existuje více druhů. Někdy se hovoří o „telefonní“ dvovloučce a „datové“ dvovloučce, ale přesnější je jejich rozdělení do tříd, resp. do kategorií. Z „datových“ jsou dnes nejpoužívanější dvovloučky:

- kategorie 3: dimenzované pro signál o frekvenci do 10 MHz,
- kategorie 5: pro signál do 100 až 120 MHz,
- kategorie 6: do 200 MHz.

Přenosová rychlost, kterou v praxi na kroucené dvovloučce můžeme dosáhnout, je závislá i na tom, kolik párů (dvojic vodičů, respektive dvovlouček) použijeme. Například pro desetimegabitový Ethernet (podle standardu 10BaseT) vystačíme se dvěma páry dvovloučky kategorie 3. Pro stomegabitový Ethernet (100BaseTX) nám stačí dva páry dvovloučky kategorie 5, ale existuje i řešení (100baseT4), při kterém můžeme použít 4 páry dvovloučky kategorie 3. Pro ještě vyšší rychlosti (gigabitový Ethernet atd.) se ovšem používá již jen kategorie 5 či vyšší.

V praxi se přitom používají kabely, které obsahují více párů kroucené dvovloučky současně – nejčastěji jde o 4 páry. V telefonii se pak lze setkat s kabely, které obsahují až stovky párů „telefonní dvovloučky“.

UTP a STP

Proč je vlastně dvovloučka kroucená a nikoli rovná? To proto, že každé dva vodiče, vedené vedle sebe, se chovají jako anténa a něco vysílají (vyzařují) do svého okolí a stejně tak něco ze svého okolí přijímají. K pravidelnému kroucení obou vodičů po celé délce (nejčastěji 1x každých 7,5 až 10 cm) dochází právě kvůli tomu, aby se tento efekt minimalizoval. Bohužel se nikdy neodstraní úplně, a tak i kroucená dvovloučka stále něco vyzařuje do svého okolí (a také z něj něco přijímá).

Dalším opatřením je použití přídatného stínění, které má vyzařování snižovat. Podle toho, zda je či není použito, pak rozlišujeme:

- nestíněnou kroucenou dvovloučku (anglicky: UTP, Unshielded Twisted Pair), která nemá žádné stínění,

- stíněnou kroucenou dvovloučku (STP, Shielded Twisted Pair), která má samostatné stínění každého páru v kabelu.

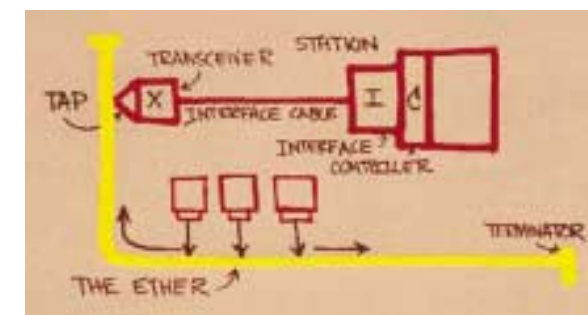
Pochopitelně stíněná dvovloučka (STP) je dražší než nestíněná, a tak se v praxi používá spíše dvovloučka nestíněná. Někdy se ale lze setkat ještě s třetí variantou, v níž je stínění pro všechny páry v rámci daného kabelu společné. Nechrání tak proti vzájemnému ovlivňování jednotlivých párů, ale chrání alespoň proti vyzařování ven z kabelu. V angličtině je tato varianta označována jako „Screened“ (ScTP).

Koaxiální kabely

Koaxiální kabely byly využívány pro datové přenosy dokonce ještě dříve než kroucená dvovloučka. Například první standardy Ethernetu vznikly právě s předpokladem použití koaxiálního kabelu, teprve později se objevila možnost využití kroucené dvovloučky.

Dnes se koaxiální kabely pro datové přenosy znovu vrací na výsluní, a to zejména v souvislosti s budováním tzv. hybridních sítí (HFC, Hybrid Fiber-Coax), kombinujících optická vlákna s koaxiálními kabely. Jde většinou o novější rozvedy, u kterých jsou použity (relativně dražší) optické kabely pro překonání větších vzdáleností, například po vstupu do jednotlivých domů či jiných objektů. Pro další rozvedy, které již obvykle mají „paprskovitý“ charakter, by ale použití optických vláken bylo stále ještě příliš nákladné, a tak se realizuje pomocí koaxiálních kabelů. Příkladem mohou být rozvedy kabelových televizí.

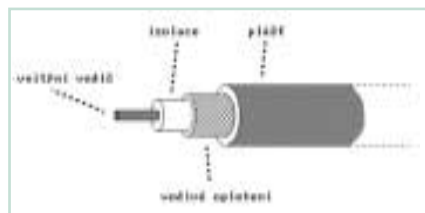
Předností koaxiálních kabelů je to, že jejich chování jako antény (hlavně vyzařování do okolí,



▲ Historicky první náčrtek Ethernetu, s tzv. „žlutým“ koaxiálním kabelem.

ale také příjem z okolí) je velmi malé. Je to dáno jejich konstrukcí, které také vděčí za své jméno. „Koaxiální“, resp. „co-axial“ totiž znamená „soustředný“, oba vodiče koaxiálního kabelu jsou skutečně soustředné (mají společný střed).

Uvnitř koaxiálního kabelu se nachází vnitřní (středový) vodič, kolem kterého je vrstva izolace, kolem ní se pak ve formě vodivého opletení nachází druhý vodič. Jeho střed (středová osa) se přitom shoduje se středem vnitřního vodiče. Podstatné ale je, že druhý vodič (ve formě vodivého



▲ Schéma koaxiálního kabelu.

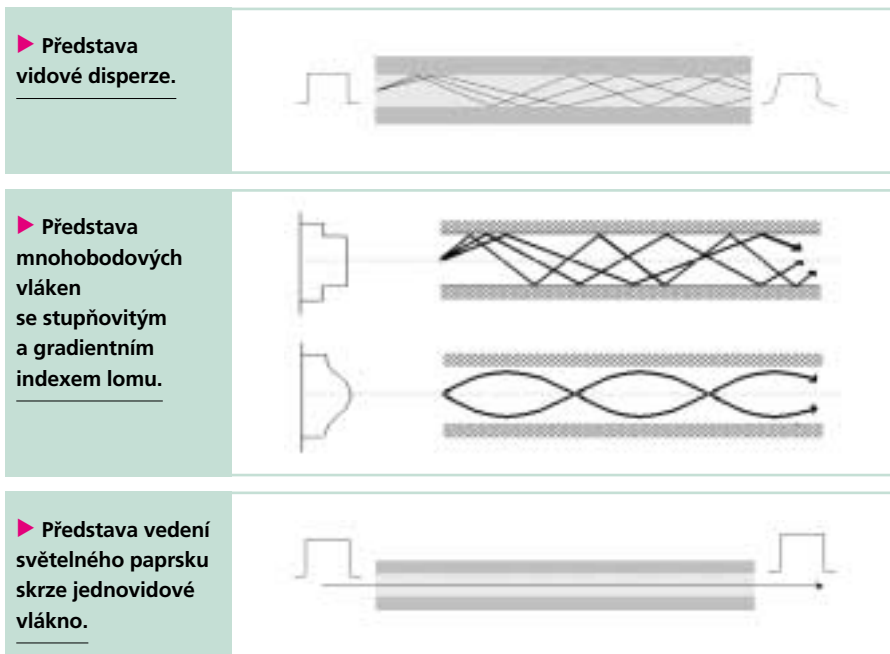
opletení) funguje jako účinné stínění po celé délce koaxiálního kabelu, a tím výrazně snižuje vyzařování směrem ven.

Optická vlákna

Jak jsme již uvedli, optická vlákna mají oproti kroucené dvoulince i koaxiálním kabelům zdaleka největší potenciál v přenosu dat, s tím, že dnes tento potenciál využíváme stále jen velmi málo. Proto jsou optická vlákna instalována všude tam, kde je potřeba realizovat větší přenosovou kapacitu či alespoň vytvořit předpoklady pro budoucí využití takového větší kapacity. Na druhou stranu instalace optických vláken je přece jen náročnější a nákladnější než u ostatních drátových přenosových médií.

Optická vlákna již ze své fyzikální podstaty přenášejí data modulovaná („naložená“) na světelný paprsek. K vedení tohoto paprsku optickým vláknem se využívá základních poznatků z fyziky, konkrétně tzv. Schnellova zákona lomu. Ten říká, že když světelný paprsek dopadá na rozhraní dvou prostředí s různou optickou hustotou (dvou „různě průhledných“ prostředí), část paprsku se odráží zpět a část prostupuje dále, do druhého prostředí – jak ilustruje další obrázek.

Záleží ovšem také na rozdílu optických hustot (na rozdílu v „průhlednosti“ obou prostředí) a na úhlu dopadu paprsku – pokud je tento úhel dostatečně malý (měřeno od osy vlákna, na obrázku od vodorovné osy), pak se celý paprsek odráží zpět do původního prostředí a nic z něj neprostupuje do druhého prostředí (dochází k úplnému odrazu). A to už je to, co optická vlákna potřebují: stačí vhodně volit materiál obou prostředí (jádra i pláště) a také úhel dopadu světelného paprsku, měřeno od osy vlákna. Pokud bude ten-



to úhel dopadu menší než určitá mezní hodnota (označovaná jako tzv. numerická apertura), bude uvnitř vlákna docházet jen k úplným odrazům a světelný paprsek bude optickým vláknem veden po celé jeho délce.

Mnohovidová a jednovidová optická vlákna

To, co jsme si právě popsal, platí pro tzv. mnohovidová vlákna, skrze která může procházet více svazků paprsků (tzv. vidů) současně. Každý z nich přitom vstupuje do optického vlákna pod trochu jiným úhlem, a proto také „cestuje“ po trochu jiné dráze. Na druhém konci vlákna pak díky tomu vystupují jednotlivé vidy s určitým vzájemným posunem (označovaným jako vidová disperze). Příjemce ovšem nevyhodnocuje jednotlivé vidy samostatně, ale pouze jejich součet. Kvůli vidové disperzi pak přijímá původní signál v poněkud deformovaném (zkresleném) tvaru, což ilustruje následující obrázek.

Konstrukčně jsou přitom mnohovidová vlákna řešena tak, že jejich optická prostředí (jádro a plášť) se mění skokovitě (se skokovitým inde-

xem lomu), nebo pozvolna (s gradientním indexem lomu). Podle toho se pak jednotlivé vidy buď skokovitě odráží, nebo pozvolna „ohýbají“.

Není jisté těžké nahlédnout, že vidová disperze u mnohovidových vláken bude mít více šancí se uplatnit a více zkreslit přenášený signál, pokud bude optické vlákno delší. Dosah mnohovidových vláken je proto relativně omezený, alespoň oproti tzv. jednovidovým vláknům. Ta již podle svého názvu vedou vždy jen jeden vid, a to zcela bez odrazů. Nepochází u nich tudíž k vidové disperzi, která by zkreslovala přijímaný signál, a tak s nimi lze v praxi dosáhnout na větší vzdálenost – a také dosahovat vyšších rychlostí.

Rozdíl mezi jednovidovými a mnohovidovými vlákny je samozřejmě i v jejich provedení, ceně a náročnosti na manipulaci a instalaci. Jednovidová vlákna jsou obecně tenčí, dražší, křehčí a náročnější na manipulaci (např. na osazení konektory). Naproti tomu mnohovidová vlákna jsou silnější, lacinější, méně křehká a méně náročná na manipulaci:

- jednovidová vlákna mají průměr jádra 4 až 10 mikronů (mikrometrů),
- mnohovidová vlákna mají průměr jádra 50, 62,5 nebo 100 mikrometrů.

Optické kabely

Oba druhy optických vláken jsou stále příliš slabé a křehké na to, aby se daly v praxi používat samostatně. Když už tomu tak má být, musí být obalena další silnou vrstvou vhodného materiálu, který zabezpečí potřebné mechanické vlastnosti (například je ochrání proti snadnému zlomu). Spíše se ale většiny počty jednotlivých optických vláken sdružují do jednoho konstrukčního celku – optického kabelu. Ten pak zajišťuje také potřebné mechanické vlastnosti (tuhost) a ochranu jednotlivých vláken před poškozením.

Existují přitom i kombinované (hybridní) kabely, které kromě optických vláken obsahují ta-



▲ Koaxiální a optické kabely.



▲ Chráničky a jejich pokládka.

ké koaxiální kabely. Ty jsou většinou dostatečně tuhé na to, aby zajišťovaly potřebnou tuhost i pro celý kabel. Kromě nich pak jsou v kabelu umístěna ještě optická vlákna. Po instalování takového kabelu je možné zpočátku používat třeba jen koaxiální kabel. Když pak požadavky na přenosovou kapacitu vzrostou, je možné začít používat i jednotlivá optická vlákna.

Myšlenka kombinovaných (hybridních) kabelů se snaží reagovat na skutečnost, že v poslední době už nejsou nejvíce nákladné samotné kabely, ale jejich pokládka. Proto nabízí možnost „zakopat do země“ něco (optická vlákna), co třeba ještě není aktuálně zapotřebí, ale do budoucna může být – a pak lze vše využít, aniž by bylo nutné znovu „kopat do země“.

Ze stejné úvahy vychází i další dnešní praxe, která také úzce souvisí s optickými vlákny a kabely. Jde v ní o to, že když už se musí „kopat do země“, pak se do ní „zakope“ více, než je právě potřeba, jako určitá rezerva pro budoucnost. Dokonce ani nemusí jít o hotové kabely, optické či jiné. Stačí „zakopat“ prázdné plastové trubky, tzv. chráničky. Když se pak někdy později objeví potřeba zřídít nějakou přenosovou kapacitu, stačí těmito chráničkami protáhnout potřebné kabely – aniž by se muselo znovu „kopat do země“. Dokonce díky chráničkám je možné již jednou položené kabely zase někdy později vytáhnout a místo nich natáhnout skrze chráničky kabely nové.



▲ Představa vlnového multiplexu.

Plastová optická vlákna

Optická vlákna má smysl používat i na krátké vzdálenosti, třeba jen na několik metrů – například pro propojování výkonnějších zařízení. V takovém případě by ale klasická „skleněná“ optická vlákna byla zbytečným luxusem, navíc s ne zrovna jednoduchou manipulací (náročností na konektorování atd.).

Proto se v praxi používají také jiná optická vlákna, nikoli skleněná, ale plastová. Jsou relativně nenáročná na cenu i provedení, na krátké vzdálenosti mohou nabízet i dostatečně vysoké přenosové rychlosti. Průměr optických vláken je na jedné straně výrazně větší než průměr vláken skleněných. Na druhé straně ale ani větší průměr není v praxi překážkou, ale spíše výhodou, kvůli lepším mechanickým vlastnostem.

Vlnový multiplex

Optické přenosové technologie se s postupem času výrazně zdokonalují. Časem se možná dočkáme i čistě optického zpracování dat, ale zatím zůstaňme jen u optických přenosů a přenosových médií. Zde je jasným trendem postupné zvyšování dosahu souvislých optických segmentů (bez zesilovačů), stejně jako zvyšování dosahovaných rychlostí.

K ještě výraznějším změnám však dochází v důsledku prosazování techniky, označované jako „vlnový multiplex“ (wavelength multiplexing). Ta umožňuje použít jedno optické vlákno pro více (samostatných) přenosů současně. Vlastně jde o jakési rozdělení (proto multiplex) optického vlákna na několik samostatně využitelných kanálů. V každém z nich pak lze dosahovat obvykle stejných rychlostí jako bez takového dělení. Jinými slovy to znamená, že pomocí vlnového multiplexu lze vynásobit dosahovanou přenosovou kapacitu optického vlákna n -krát, kde n je počet „kanálů“, na něž je vlákno rozděleno.

Vlnový multiplex ve skutečnosti funguje tak, že od sebe dokáže oddělit světelné paprsky různých vlnových délek (proto vlnový multiplex). Přitom paprsky různých vlnových délek odpovídají světlu o různé barvě, a proto se i zde hovoří o „barvách“: vlnový multiplex přenáší přes optické vlákno různé barvy, každá z nich může nést samostatný „náklad“ dat (každá může být modulována samostatně). Základní představu naznačuje obrázek vlevo dole.

Počet barev, používaných v praxi, se pochopitelně také vyvíjí v čase. Dnes jsou běžně dostupné (ve formě komerčních řešení) systémy



▲ Srovnání průměru jádra (a pláště) jednobodových, mnohovidových a plastových vláken.

pracující s desítkami barev. V laboratorních podmínkách však nejsou výjimkou ani tisíce barev na jediném vlákně.

Příkladem řešení z praxe mohou být optické sítě EuroRing, které v roce 2001 zprovoznila po celé Evropě i u nás společnost KPNQwest. Do země zakopala vždy určitý počet chrániček (od 2 do 10), ale optický kabel většinou instalovala jen do jedné z nich. Každý kabel měl 120 vláken, každé vlákno bylo ještě rozděleno na 80 barev pomocí vlnového multiplexu. V rámci každé barvy byla přenášena data rychlostí 10 Gbit/s. V přepočtu to odpovídá 800 Gbps na jedno vlákno, a při 120 vláknech v jednom kabelu to představuje úctyhodných 96 Tbps (terabitů za sekundu). V přepočtu na počet obyvatel ČR to vycházelo téměř na 10 Mbit/s na hlavu. Tak obrovskou kapacitu se ale nepodařilo úspěšně prodat a společnost KPNQwest později zkrachovala.

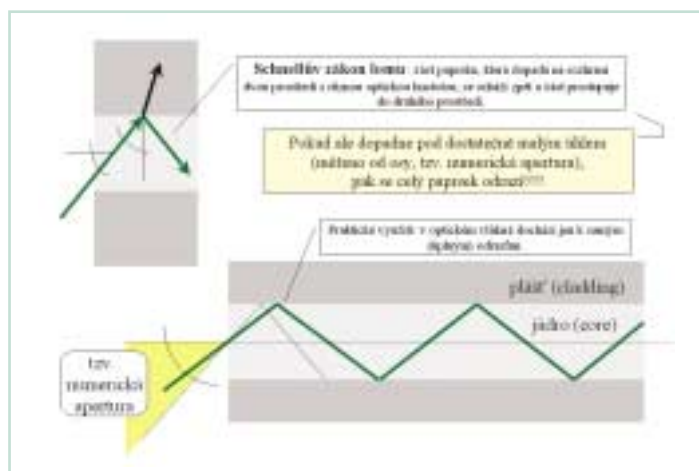
Optické přenosové systémy

Samotná optická vlákna by k přenosu dat samozřejmě nestačila. Na obou jejich stranách musí být instalována vhodná zařízení, zajišťující z jedné strany generování světelných paprsků a z druhé strany vyhodnocování jejich příjem. Potřebné zdroje světla a detektory se pochopitelně liší podle toho, o jaké vlákno jde – nejjednodušší plastová i mnohovidová vlákna například vystačí se světelnými zdroji na bázi diod LED. Naproti tomu jednovidová vlákna vyžadují dostatečně kvalitní laserové zdroje. Obdobné je to i na druhé straně.

Po doplnění nezbytného zdroje světla a vysílače (pro převod signálu z elektronické do optické podoby) a detektoru a přijímače (pro opačný převod) teprve dostáváme ucelený optický přenosový systém.

Pokud je použit ještě vlnový multiplex, musí být oba konce vláken osazeny ještě příslušným vybavením pro rozlišování jednotlivých barev a jejich samostatnou modulaci, podle přenášených dat.

5 0476/BAM □



◀ Schnellův zákon a princip vedení světelného paprsku optickým vláknem.